

低希釈ガラスビードによる岩石試料の蛍光X線分析： 主成分元素と微量成分元素の同時測定法とその精度

太田 亨

はじめに

蛍光X線分析（X-Ray Fluorescence analysis）は、堆積岩・火成岩・変成岩の研究においては、基礎的かつ、主要な分析手法である。一般的には、主成分元素の分析に際しては、岩石粉末を四ホウ酸リチウムによって1：10の割合に希釈したガラスビードを用いる。一方、微量成分元素は、粉末試料を希釈せずに、圧縮・固化した粉末プレス試料を用いて分析をする。この違いは以下の理由による。

X線分析では単位時間に計数管の窓を通して入射するX線光子の数をもってそのX線強度とされている（kilo counts per second: kcps）。この計測時に、高含有量の元素を高計数率で測定すると、検出器の電気信号の伝達速度に起因する数え落としが発生する可能性がある。したがって、高含有量の主要成分元素の測定の際には、精度向上のためにあらかじめ希釈した試料を用いてきた。また、均質なガラスビード試料では、粒径効果と共存元素の影響が軽減されるために正確度の高い分析結果が得られる。

他方、微量成分元素の蛍光X線信号は微弱なので、特性X線強度を高めた未希釈試料を使用する必要があった。ただし、この代償として、粒径効果や共存元素の影響を強く受けるので、正確度が低下する。

上記理由のために、岩石試料の主要成分元素と微量成分元素の解析を実行する時には、高希釈ガラスビードと粉末プレスの2つの試料を作成して、2つの条件設定が異なる検量線を用意するという手間が不可欠であった。

しかしながら、近年では蛍光X線分析器の精度向上も加味して、ある程度低希釈した試料でも微量成分元素の蛍光X線信号を検知できるようになってきた。これによって、以下の2つの進展が期待される。まず、低希釈ガラスビード試料1つだけで主要成分元素と微量成分元素を同時に測定でき、かつ、微量成分元素測定の際に内在していた粒子効果と共存元素の影響を低減できる。これは、作業効率と分析精度の両方の向上に繋がるので、近年、低希釈ガラスビードで主要成分元素

と微量成分元素を同時に測定する手法が盛んに提案されてきた（例えば、矢嶋ほか，2001；後藤ほか，2002；新城・宮本，2007；高瀬・長橋，2007）。

本論では、上記の研究成果を踏襲して、岩石試料：四ホウ酸リチウム = 1 : 2 のガラスビードを用いて、主要成分元素と微量成分元素を同時に定量する検量線の作成を早稲田大学教育学部所属の蛍光 X 線分析装置（ZSX Primus II , Rigaku Co, Tokyo）にて試みた。その、試料調整方法・検出元素・正確度・精度を報告する。

試料の調整方法

本論では、検量線作成のための標準試料として、JA-1a, JA-2, JA-3, JB-2, JB-3, JG-1, JG-2, JG-3, JGb-1, JGb-2, JP-1, JR-2, JSd-1, JSy-1 の 14 試料を用いた。

ガラスビードを作成する際には、前処理として岩石粉末試料を加熱して揮発性成分を取り除き、かつ、灼熱減量（loss of ignition: LOI）から揮発成分の含有量を測定した。計量方法は Heiri et al. (2001) に従った。あらかじめ重さを量った磁性るつぽに粉末試料をいれて、再度秤量して試料の重量を記録した（ここでは、この試料の重量を W_0 と表す）。るつぽを電気オープンに入れて、105℃で 24 時間加熱して吸着水・構造水を取り除く。十分になるつぽが冷えてから再度試料の重量を秤量した重量を W_{105} とする（るつぽ+試料の重さではないことに注意）。再度、オープンに磁性るつぽを入れて、550℃で 4 時間加熱して、その後の試料重量を W_{550} とした。この処理で灼熱減量した量（ LOI_{550} ）が試料に含まれる有機物由来の CO_2 となる。

$$LOI_{550} = ((W_{105} - W_{550}) / W_{105}) \times 100$$

ただし、Heiri et al. (2001) は、場合によっては 550℃・4 時間の加熱で有機物が完全に焼却しないことと、この加熱時に塩類も揮発すると述べている。したがって、 LOI_{550} は含有有機物量の目安にすぎない指標だと考えるべきである。

次に、試料を 950℃で 2 時間加熱して、その後の重量を計量（ W_{950} ）して、 LOI_{950} を算出した。

$$LOI_{950} = ((W_{550} - W_{950}) / W_{550}) \times 100$$

LOI_{950} は、方解石（ $CaCO_3$ ）・ドロマイト（ $CaMg(CO_3)_2$ ）・シデライト（ $FeCO_3$ ）由来の CO_2 の量を表す。したがって、 LOI_{950} から炭酸塩鉱物の含有量を見積もることができる。ただし、上記のように W_{550} が真の有機物由来の CO_2 とみなせない場合が多いので、 LOI_{950} も炭酸塩鉱物含有量の目安と考えるべきである。

上記、吸着水・構造水・塩類・有機物・炭酸塩鉱物の CO_2 を除去した試料から低希釈ガラスビードを作成した。白金るつぽに試料 1.6000 g と四ホウ酸リチウム（ $LiBO_2$ ）3.2000 g を正確に秤量し

て、場合によっては剥離剤（ヨウ化リチウム）を微量加えて、ビードサンプラーで 1250℃、450 秒の条件で溶融する。この低希釈ビードを作成する際には、融剤に対する岩石試料の割合が高いため、溶け残りができないように、融剤（四ホウ酸リチウム）と岩石粉末をよく混合する必要がある。

元素組成測定条件

本論では、主要成分元素として、SiO₂、TiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、MnO、MgO、CaO、Na₂O、K₂O、P₂O₅ を、微量成分元素として、V、Cr、Co、Ni、Cu、Rb、Sr、Y、Zr、Nb、Ba、Th を同時に定量する。標準試料の各元素濃度の標準値は、Imai et al. (1995) を参照した。

Table 1 に主要成分元素の、Table 2 に微量成分元素の測定スペクトル (Spectrum)、X 線管球 (Target)、分光結晶 (A.C.)、X 線検出器 (Counter)、スリット (Slit)、ピーク角度 (2θ)、測定時

Table 1. Measurement setting of major elements

Spectrum	Target	A.C.	Counter	Slit	Peak/time	B.G.1/time	B.G.2/time	B.G. Adj	PHA
Si-Kα	Rh	PET	PC	S4	109.106/40	106.500/20	111.100/20	Line seg.	100-300
Ti-Kα	Rh	LiF1	SC	S2	86.120/40	85.020/20	87.600/20	Line seg.	80-400
Al-Kα	Rh	PET	PC	S4	144.650/40	140.400/20	148.000/20	Line seg.	100-300
Fe-Kα	Rh	LiF1	SC	S2	57.500/40	56.760/20	58.420/20	Line seg.	80-400
Mn-Kα	Rh	LiF1	SC	S2	62.960/40	62.060/20	63.700/20	Line seg.	80-350
Mg-Kα	Rh	RX25	PC	S4	38.450/40	36.500/20	39.950/20	Line seg.	100-350
Ca-Kα	Rh	LiF1	PC	S4	113.100/60	110.900/20	115.350/20	Line seg.	100-300
Na-Kα	Rh	RX25	PC	S4	46.690/60	44.000/20	49.000/20	Line seg.	100-320
K-Kα	Rh	LiF1	PC	S4	136.650/60	134.100/20	139.250/20	Line seg.	100-300
P-Kα	Rh	Ge	PC	S4	141.100/60	136.000/20	143.550/20	Line seg.	150-300

Footnotes: A.C., analyzing crystal; time in second; B.G., background adjustment point; line seg., Line segment.

Table 2. Settings of minor elements

Spectrum	Target	A.C.	Counter	Slit	Peak/time	B.G.1/time	B.G.2/time	B.G.3/time	B.G.4/time	B.G.5/time	B.G. Adj	PHA
V-Kα	Rh	LiF1	SC	S2	76.910/100	76.420/50	76.600/50	77.180/50	77.200/50		Quad.Cur.	100-300
Cr-Kα	Rh	LiF1	SC	S2	69.330/100	68.640/50	68.740/50	70.060/50	70.220/50		Linear	100-300
Co-Kα	Rh	LiF1	SC	S2	52.770/100	52.200/50	52.440/50	52.340/50	53.360/50	54.120/50	Quad. Cur.	100-300
Ni-Kα	Rh	LiF1	SC	S2	48.650/100	47.860/50	47.960/50	49.220/50	49.420/50		Linear	100-300
Cu-Kα	Rh	LiF1	SC	S2	45.010/100	44.440/50	44.540/50	45.540/50	45.540/50		Linear	100-300
Rb-Kα	Rh	LiF1	SC	S2	26.600/100	26.000/50	26.200/50	27.040/50	27.300/50		Linear	100-300
Sr-Kα	Rh	LiF1	SC	S2	25.130/100	24.700/50	25.740/50				Line seg.	100-300
Y-Kα	Rh	LiF1	SC	S2	23.780/100	23.340/50	23.440/50	24.240/50	24.340/50		Linear	100-300
Zr-Kα	Rh	LiF1	SC	S2	22.540/100	21.820/50	21.920/50	23.080/50	23.240/50		Linear	100-300
Nb-Kα	Rh	LiF1	SC	S2	21.390/100	20.520/50	20.900/50	21.780/50	21.980/50		Quad. Cur.	100-300
Ba-La	Rh	LiF1	SC	S2	87.130/100	86.780/50	86.820/50	87.820/50	88.040/50		Linear	100-300
Th-La	Rh	LiF1	SC	S2	27.450/100	27.080/50	27.480/50	27.660/50	27.900/50		Quad. Cur.	100-300

Footnotes: A.C., analyzing crystal; time in second; B.G., background adjustment point; line seg., Line segment; Linear, linear regression; Quad. Cur., quadratic curve.

間 (Second), バックグラウンド補正法 (B.G. Adj), 波高分析器範囲 (PHA) を記した。X 線管球はロジウムを使用し, 管電圧と管電流は, それぞれ 50 kV, 60 mA とした。測定スペクトルは基本的に, 励起に必要な電圧が低い K 殻励起蛍光 X 線とする。しかし, 原子番号が増えると共に K 殻の電子を励起するのに高電圧が必要になってしまうので, 原子番号 56 の Ba と 90 の Th は L 殻の励起信号をターゲットとした。X 線検出器は, 原子番号 20 の Ca まではガス封入型比例計数管 (PC) を利用し, Ca より重い元素はシンチレーション計数管 (SC) を用いた。ピークの計測時間は, 主要成分元素で 40 ないしは 60 秒とし, 微量成分元素は 100 秒とした。これによって X 線強度が最高でも, PC 利用時は 800 kcps, SC 利用時には 600 kcps を越えることがないように調整した。

主要成分元素のバックグラウンド補正はバックグラウンド計測点 2 点の線分とした (Table 1)。ただし, 主要成分元素のスペクトルの多くには, サテライトピークが確認されたので, このような場合はサテライトピーク外にバックグラウンド補正点を移動させている (例えば, Al_2O_3 ; Fig. 1a)。微量成分元素の場合には, X 線強度が弱いので, ピークを挟んだ両脇でそれぞれ 2 点のバックグラウンドを計測し, 計 4 点の線型回帰直線によってバックグラウンド補正をした (Table 2)。この対処によって, バックグラウンドの微細な X 線強度の揺らぎによるピーク測定値の誤差を抑制できると考えられる (例えば, Ba; Fig. 1b)。さらに, 微量成分元素のうち測定するスペクトルの近傍に他の元素ピークが存在する元素については, 4 ないしは 5 点のバックグラウンド計測点の二次回帰曲線でバックグラウンド補正を施した (例えば, V; Fig. 1c)。具体的には, V-K α , Co-K α , Nb-K α , Th-L α のターゲットスペクトルはそれぞれ, 近傍の Ti-K β_1 , Fe-K β_1 , Zr-K α , Rb-K α のピークの肩に乗っているので単純な線型回帰になじまないで, このような措置を施す必要がある (Table 2)。

最後に, PHA の波高分析範囲は, 妨害信号が入らないように各元素毎に適時設定した (Tables 1 and 2)。

検量線の作成

上記条件のもとで標準試料の分析をおこなった結果が Table 3, 4 にまとめている。基本的には GeoReM (<http://georem.mpch-mainz.gwdg.de/start.asp>) にまとめられている推奨値の範囲に収まる値が得られたが, 括弧付きの分析値は推奨値の範囲に収まらなかったため検量線作成の際には除外した。特に, Co と Cu では検出限界以下の値が多く存在するので, Co と Cu 濃度の低い試料を本分析条件のもとで測定する場合には注意が要する。これらの元素については, 測定時間・バックグラウンド補正にさらなる工夫が必要であり, 今後の課題とする必要がある。

各元素の分析に際しては吸収励起のマトリックス補正を Lachance/Truill モデルでおこなった。また, 以下の元素については波高分析器で除去されないピーク重なり補正も実施した: MnO (重なる元素 Cr), V (TiO_2), Cr (V), Co (Fe_2O_3), Cu (Ni) Y (Rb) Zr (Nb), Nb (Zr, Y), Ba (TiO_2)。

すべての元素の検量線は一次回帰直線とし, その相関係数は 0.97 から 0.99 であった。作成した検量線の代表例として, SiO_2 , TiO_2 , Ba, Zr の検量線を Fig. 2 に示す。

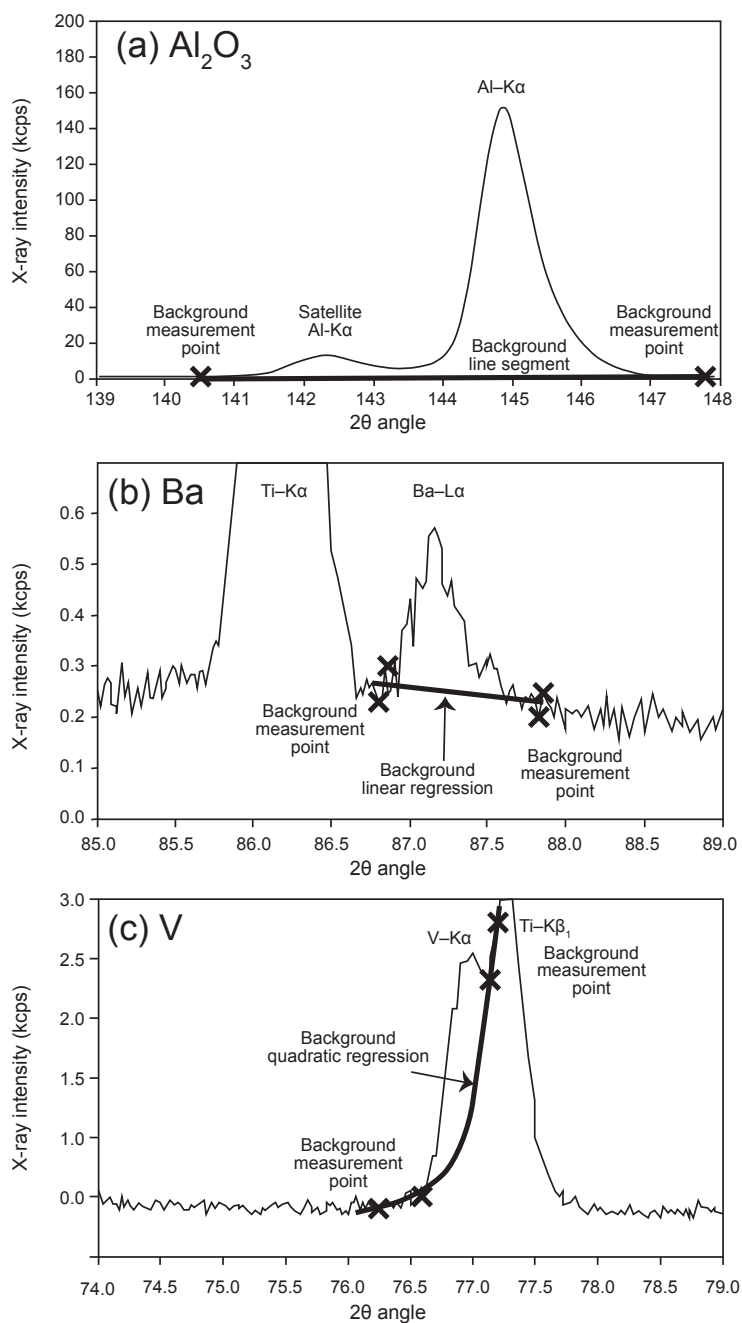


Fig. 1 Examples of three background correction techniques used in this study.
 (a) Background correction by line segment. (b) Background correction by linear regression. (c) Background correction by quadratic curve.

Table 3. Results of major element analysis of standard samples (wt%)

Sample	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
JA-1a	59.824	0.871	14.405	7.309	0.168	1.476	5.869	3.880	0.805	0.160
JA-2	55.453	0.677	14.855	6.486	0.108	7.539	6.253	3.063	1.849	0.153
JA-3	59.703	0.677	14.779	6.812	0.107	3.486	6.203	3.147	1.450	0.112
JB-2	50.313	1.136	13.508	14.071	0.211	4.226	9.891	1.941	0.435	0.096
JB-3	49.007	1.401	16.307	11.617	0.173	4.781	9.722	2.636	0.807	0.293
JG-1	74.769	0.275	14.663	2.210	0.068	0.777	2.063	3.402	4.011	0.096
JG-2	(86.835)	0.047	13.967	1.020	0.015	0.078	0.654	3.629	4.618	0.008
JG-3	66.814	0.480	15.199	3.755	0.075	1.759	3.647	4.070	2.667	0.128
JGb-1	44.419	1.616	17.554	14.552	0.178	7.461	11.970	1.166	0.237	0.059
JGb-2	48.077	(0.543)	24.537	6.441	0.118	6.114	14.127	0.933	0.055	0.015
JP-1	42.455	0.005	0.694	(10.238)	0.119	46.125	0.597	0.038	0.001	0.007
JR-2	77.586	0.062	12.739	0.762	0.121	0.075	0.503	4.061	4.484	0.009
JSd-1	69.859	0.697	15.049	5.351	0.101	1.832	3.001	2.709	2.218	0.125
JSy-1	60.895	0.001	24.135	0.068	0.001	(0.049)	0.264	10.711	4.639	0.007

Footnote: parenthetic numbers are those excluded for calibration curve delineation

Table 4. Results of minor element analysis of standard samples (ppm)

Sample	V	Cr	Co	Ni	Cu	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Th
JA-1a	(37.1)	10.7	16.9	3.2	47.2	14.7	268.2	30.6	85.0	3.3	318.1	1.4
JA-2	87.5	371.5	27.3	136.6	26.9	60.0	249.2	15.3	100.9	8.4	308.8	3.9
JA-3	144.4	62.0	21.8	36.5	45.5	33.3	289.5	20.4	105.0	3.7	314.7	2.1
JB-2	599.9	36.9	47.8	8.2	228.3	10.3	142.0	21.0	39.3	2.3	222.1	1.0
JB-3	316.4	57.5	41.7	29.7	195.4	15.4	340.8	23.0	82.8	1.8	233.8	1.7
JG-1	20.0	49.5	(U.D.)	10.6	(U.D.)	171.2	223.9	31.6	123.2	11.5	474.6	13.3
JG-2	(27.6)	8.0	(U.D.)	9.6	(U.D.)	313.5	23.2	88.8	104.3	16.7	80.3	32.8
JG-3	46.8	24.6	8.3	17.9	2.7	64.6	419.8	18.4	159.3	5.7	456.0	8.6
JGb-1	635.2	63.2	62.2	15.3	70.4	9.9	(249.1)	11.7	36.5	1.9	66.5	0.6
JGb-2	134.7	99.6	22.7	12.9	13.1	8.3	419.0	8.8	37.4	(0.2)	(11.2)	(0.5)
JP-1	71.8	2864.0	108.0	2459.7	(U.D.)	(8.5)	3.2	(6.4)	7.7	3.1	20.3	(1.3)
JR-2	23.1	10.3	(U.D.)	8.7	(U.D.)	304.0	12.7	49.2	88.4	17.6	41.6	30.2
JSd-1	27.6	30.7	12.5	10.4	25.6	62.6	373.0	16.2	138.7	10.8	533.8	3.8
JSy-1	(31.2)	7.8	(U.D.)	5.2	13.0	71.9	27.0	6.5	68.2	(3.8)	21.5	0.7

Footnotes: parenthetic numbers are those excluded for calibration curve delineation. U.D. denotes under detection limit.

検量線の正確度・精度と考察

主要成分元素では、正確度が小数点第 2 位程度の値で、精度も小数点第 3 位程度の値であり、十分な正確度と精度が得られた (Table 5)。しかし、SiO₂ だけは正確度・精度が高い値 (悪い値) になっているが、これは濃度が高く、濃度範囲も広く分散が大きいためである (Table 5)。そこで、正確度と精度を平均値で規格化した相対正確度と相対精度の値も Table 5 に記した。この値からわ

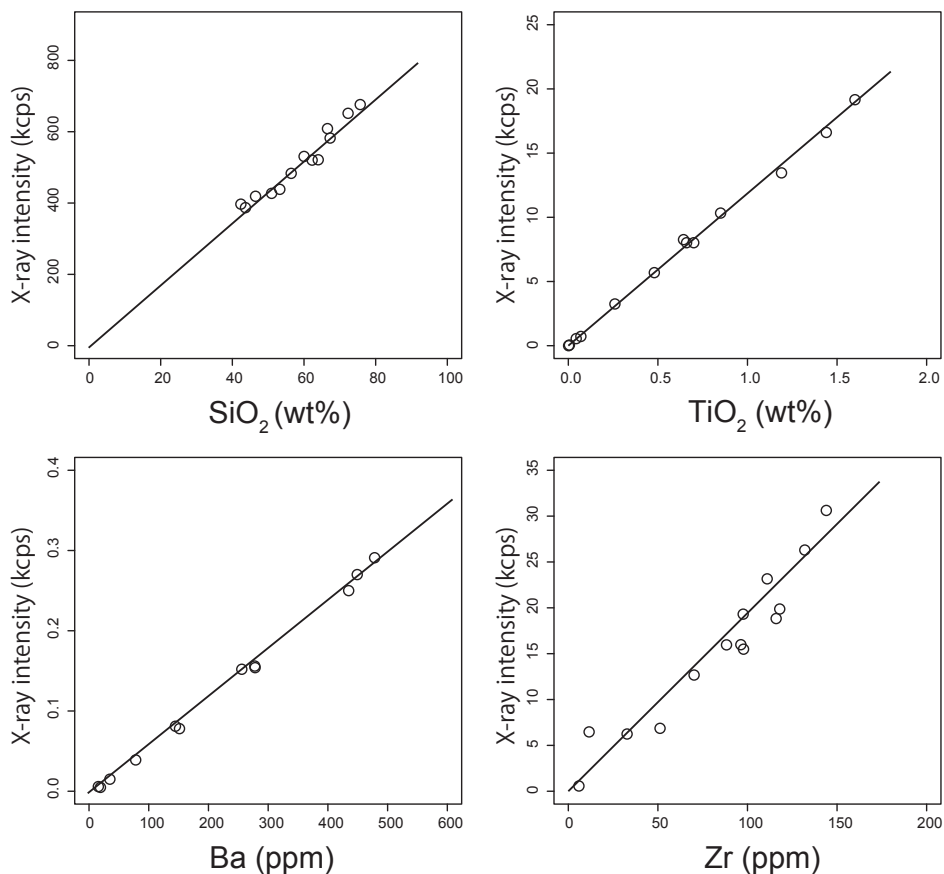


Fig. 2 Representative calibration lines for quantitative measurement of element abundances. X-ray intensities were converted to element abundances using these calibration lines.

かのように、 SiO_2 も実際にはそのほかの主要成分元素と同程度の正確度と精度を有している。したがって、分析の正確度は主要成分元素で同程度だが、信用できる桁が元素ごとで異なる点が注意を要する。すなわち、この結果から、この検量線から測定された主要成分濃度の正確度は相対的に数%以下であるといえる。ただし、相対濃度の差から、 SiO_2 では第 1 桁、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO では小数点第 1 位、 TiO_2 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O は小数点第 2 位、 MnO 、 P_2O_5 は小数点第 3 位が信用できない値になっていると考えられる。この値は、従来用いられてきた高希釈ガラスビード（試料：融剤 = 1 : 10）と比較しても遜色のない正確度・精度を保った定量分析であるといえる。

微量成分元素でも濃度と分散が大きい V, Sr, Zr (Table 5) では正確度の悪い値が得られた (Table 5) が、相対的正確度はほかの微量成分元素と同程度であり主要成分元素と同様に一定である。したがって、この検量線から測定される微量成分元素の正確度はおよそ 10% 以下であり、この検量線から得られた値の Th は小数点第 1 位まで、V, Cr, Co, Ni, Cu, Y, Nb, Ba は第 1 桁

Table 5. Properties of calibration lines

Element	Minimum	Maximum	variance	Accuracy	Precision	Accuracy/ mean	Precision/ mean
SiO ₂	42.38	76.83	130.6	2.272	5.092	3.796×10^{-2}	8.506×10^{-2}
TiO ₂	0.002	1.600	2.9571×10^{-1}	2.656×10^{-2}	1.062×10^{-3}	4.645×10^{-2}	1.858×10^{-3}
Al ₂ O ₃	0.66	23.48	28.31	8.026×10^{-1}	6.433×10^{-1}	5.290×10^{-2}	4.240×10^{-2}
Fe ₂ O ₃	0.084	15.060	22.96	2.261×10^{-1}	6.925×10^{-2}	3.564×10^{-2}	1.092×10^{-2}
MnO	0.002	0.218	3.815×10^{-3}	7.141×10^{-3}	5.136×10^{-5}	6.405×10^{-2}	4.607×10^{-4}
MgO	0.016	44.600	130.2	4.704×10^{-1}	6.357×10^{-1}	7.679×10^{-2}	1.038×10^{-1}
CaO	0.25	14.10	21.01	7.484×10^{-2}	8.412×10^{-3}	1.401×10^{-2}	1.575×10^{-3}
Na ₂ O	0.021	10.74	6.130	6.362×10^{-2}	4.154×10^{-3}	1.962×10^{-2}	1.281×10^{-3}
K ₂ O	0.003	4.817	3.261	6.240×10^{-2}	8.652×10^{-3}	3.090×10^{-2}	4.284×10^{-3}
P ₂ O ₃	0.002	0.294	6.70×10^{-3}	4.820×10^{-3}	1.606×10^{-5}	5.322×10^{-2}	1.773×10^{-4}
V	2.1	635	4.39×10^4	3.115×10^2	1.009×10^3	1.845×10^{-1}	5.978
Cr	2	2807	5.481×10^4	2.539	1.338×10^3	9.620×10^{-2}	5.071
Co	0.46	116	9.46×10^2	4.545	3.304×10	1.716×10^{-1}	1.248
Ni	1.1	2460	4.254×10^4	5.554	2.959×10	2.824×10^{-2}	1.505×10^{-1}
Cu	0.49	225	5.27×10^3	5.860	7.787×10	1.218×10^{-1}	1.619
Rb	0.8	303	1.10×10^4	6.600	6.040×10	8.092×10^{-2}	7.405×10^{-1}
Sr	3.32	438	2.43×10^4	2.776×10	1.139×10^3	1.255×10^{-1}	5.150
Y	1.54	86.5	4.95×10^2	2.609	6.860	1.071×10^{-1}	2.815×10^{-1}
Zr	5.92	144	1.89×10^3	1.239×10	1.743×10^2	1.479×10^{-1}	2.081
Nb	0.51	18.7	3.42×10	1.610	4.943	2.539×10^{-1}	7.793×10^{-1}
Ba	15.76	520	3.33×10^4	7.854	6.365×10	3.513×10^{-2}	2.846×10^{-1}
Th	0.19	31.6	1.20×10^2	7.432×10^{-1}	5.865×10^{-1}	1.033×10^{-1}	8.151×10^{-2}

まで、Rb, Sr, Zr は第 2 桁までが不確実であると考えられる。ただし、珪長質岩では適合元素の、苦鉄質岩では不適合元素の分析精度が良くない傾向にある。したがって、珪長質岩では含有量の少ない適合元素（V, Cr, Co, Ni, Cu）が、苦鉄質岩では含有量の少ない不適合元素（Th, Y, Nb, Rb, Zr）の正確度の差異に注意が要する（Table 5）。反対に、珪長質岩に多く含有されている不適合元素と、苦鉄質岩に多く含有されている適合元素の測定の際には精度に注意が要する（Table 5）。

通常、Th は岩石中での含有量が少ないことと、 $L\alpha$ を計測せざるを得ないことから、定量が困難であった。しかし、今回の解析では Th 測定で良好な正確度と精度が得られた点が特徴的である。この要因としては、ガラスビードで測定したために、微弱な X 線信号しか発しない Th- $L\alpha$ でも粒径効果、共存元素の影響を低減することができたためであると考えられる。

まとめ

今回、早稲田大学教育学部所属の蛍光 X 線分析装置（ZSX Primus II, Rigaku Co, Tokyo）にて、試料：溶剤 = 1 : 2 の低希釈ガラスビードによる、主要成分元素（SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅）と微量成分元素（V, Cr, Co, Ni, Cu, Rb, Sr, Y, Zr,

Nb, Ba, Th) の同時測定用検量線の作成を試みた。従来用いられていた、試料：融剤 = 1 : 10 の高希釈ガラスビードによる主要成分元素分析と、粉末プレス試料による微量成分元素と比べても同程度の正確度と精度を有する定量解析用検量線を作成できた。したがって、この検量線を用いることによって、主要成分元素と微量成分元素を同時に測定することが可能となった。この検量線を利用することによって、分析に要する前処理が簡略化されたのみならず、Th などの微量成分元素の測定精度の向上も確認された。

ただし、試料：融剤 = 1 : 2 のガラスビード作成時には、融剤の割合が少ないので、試料の溶け残りを防ぐために、十分に試料を粉碎し、融剤と混合する必要性がある。

Co と Cu に関しては、いくつかの標準試料測定の際に検出限界以下の値が得られたので、本検量線によるこれらの元素測定結果の解釈には注意を要する。また、どのような分析手法にも共通する課題ではあるが、本検量線を使用する際には、珪長質岩は、適合元素の正確度と不適合元素の精度の解釈に注意する必要があることが示された。逆に、苦鉄質岩の分析の際には、不適合元素の正確度と適合元素の精度の解釈に注意する必要があることも示された。

[引用文献]

- 後藤晶子・堀江太一郎・大場 司・藤巻宏和, 2002, 珪酸塩岩から炭酸塩岩までの広範囲の組成における主成分元素および微量成分元素の XRF 低希釈率ガラスビード分析. 岩石鉱物科学. 31, 162-173.
- Heiri O., Lotter A. and Lemcke G., 2001, Loss of ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 25, 101-110.
- Imai N., Terashima S., Itoh S. and Ando A., 1995, 1994 compilation values for GSJ reference samples, "igneous rock series". *Geochemical Journal*, 29, 91-95.
- 新城竜一・宮本正雪, 2007, 蛍光 X 線分析装置 (XRF) による 1 : 5 希釈ガラスビードを用いた全岩主成分・微量成分の定量分析. 琉球大学理学部紀要. 84, 5-13.
- 高瀬つぎ子・長橋良隆, 2007, 蛍光 X 線分析におけるガラスビード法と粉末プレス法の比較—地質試料中の主要 10 元素と微量 18 元素の定量—. 福島大学地域創造, 19, 32-47.
- 矢嶋一仁・小野 勝・藤巻宏和, 2001, XRF による 1 : 5 希釈ガラスビードを用いた全岩主要成分・微量成分の分析精度確度および精密度. 岩石鉱物科学. 30, 28-32.